

# **Detecting roughness of road surface on board vehicle - detecting rolling noise of wheel using accelerometer or microphone, bandpass filtering, forming effective value, low-pass filtering and compensating for other influences e.g. speed or tyre pressure**

**Patent number:** DE4213222  
**Publication date:** 1993-10-28  
**Inventor:** GOERICH HANS-JUERGEN DIPL  
ING (DE); JACOBI STEFAN DIPL  
PHYS (DE)  
**Applicant:** PORSCHE AG (DE)  
**Classification:**  
**- international:** E01C23/06; G01N33/42;  
G01B21/30; G01H3/00  
**- european:** G01B21/30; G01N33/42  
**Application number:** DE19924213222 19920422  
**Priority number(s):** DE19924213222 19920422

**Report a data error here**

## **Abstract of DE4213222**

The rolling noise of at least one wheel of a vehicle driven over the road surface is detected using a vehicle-mounted sensor. The sensor output signal is band-pass filtered to isolate a frequency range characteristic of road roughness. The effective value of the filtered signal is formed and low-pass filtered. The effective value is associated with a roughness value whilst compensating for the influence of other effects than roughness on the effective value. The roughness value is output.  
**USE/ADVANTAGE** - Enables continuous measurement of roughness of road surface for use by vehicle anti-lock braking system.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 42 13 222 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**E 01 C 23/06**  
G 01 N 33/42  
G 01 B 21/30  
G 01 H 3/00

⑳ Aktenzeichen: P 42 13 222.3  
㉔ Anmeldetag: 22. 4. 92  
㉕ Offenlegungstag: 28. 10. 93

DE 42 13 222 A 1

⑦① Anmelder:  
Dr.Ing.h.c. F. Porsche AG, 70435 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Görich, Hans-Jürgen, Dipl.-Ing., 7126 Sersheim, DE;  
Jacobi, Stefan, Dipl.-Phys., 7032 Sindelfingen, DE

⑤④ Verfahren zur Erfassung der Rauigkeit einer Fahrbahnoberfläche

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung der Rauigkeit einer Fahrbahnoberfläche, wobei die Fahrbahnoberfläche mittels eines Fahrzeugs befahren wird, dessen Räder auf der Fahrbahn abrollen. Es wird vorgeschlagen, mit Hilfe an der Radaufhängung angeordneter, in vertikaler Richtung messender Beschleunigungsaufnehmer die auftretenden Schwingungen zu erfassen und für einen die Rauigkeit der Fahrbahn charakteristischen Frequenzbereich, vorzugsweise im Bereich von 70 bis 120 Hz, die mittlere Intensität zu bestimmen. Unter Korrektur des Einflusses der Fahrgeschwindigkeit wird dieser Intensität über ein Kennfeld ein Maß für die Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche zugeordnet. Der so bestimmte Wert der Rauigkeit wird an den Fahrer und an im Fahrzeug vorhandene Steuergeräte ausgegeben.  
Bei Erfassung und Auswertung mehrerer Frequenzbereiche ist es möglich, neben einer genaueren Bestimmung des Wertes der Rauigkeit auch den Oberflächentyp zu bestimmen.

E 42 13 222 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung der Rauigkeit einer Fahrbahnoberfläche nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

In Kraftfahrzeugen werden zunehmend Steuersysteme eingesetzt, die sich direkt oder indirekt auf die Fahrdynamik auswirken, beispielsweise Antiblockiersysteme, Antriebsschlupfregelungen und Steuerungen für Differentialsperren.

Bei den bekannten Systemen wird zuerst eine Überschreitung der Kraftschlußgrenze eines Reifens erkannt und danach Abhilfe eingeleitet. Da hierbei die Kraftschlußgrenze immer wieder überschritten wird, kann dieses Verfahren nicht optimal sein. Deshalb bemüht man sich, die Kraftschlußgrenze im Fahrzeug laufend zu erfassen, um dann ein Fahrzeug an der Kraftschlußgrenze betreiben zu können.

Die Kraftschlußgrenze ist u. a. von der Art des Straßenbelages und hier speziell von deren Rauigkeit abhängig.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen, das die Rauigkeit einer befahrenen Fahrbahn kontinuierlich erfaßt und in einem Kraftfahrzeug anwendbar ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Patentansprüche gelöst, wobei die Unteransprüche vorteilhafte Weiterbildungen enthalten.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich vor allem dadurch aus, daß der Rauigkeitswert der zum Meßzeitpunkt befahrenen Fahrbahnoberfläche kontinuierlich erfaßt wird. Darüber hinaus kann das im übrigen berührungslös arbeitende Verfahren mit bekannten und hinlänglich erprobten Mitteln verschleiß- und rückwirkungsfrei durchgeführt werden.

Weiterhin wird ein Aufnahmeverfahren für das Abrollgeräusch des Reifens aufgezeigt, das für die Anforderungen einer Anwendung im Kraftfahrzeug geeignet und insbesondere robust und unempfindlich gegenüber Störungen und Verschmutzungen ist. Auch werden die im Automobilbau wichtigen Forderungen nach geringem Gewicht und geringen Kosten erfüllt.

Die Erfindung wird anhand eines nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Es zeigt:

Fig. 1 drei Diagramme einer Beschleunigungsamplitude am Rad eines Fahrzeuges für drei verschiedene Fahrbahnen,

Fig. 2 eine Ansicht von an einer Radaufhängung angeordneten Beschleunigungsaufnehmern,

Fig. 3 ein Ablaufschaubild für das erfindungsgemäße Verfahren, Fig. 4 eine Ansicht eines in einem Radhaus eines Kraftfahrzeuges angeordneten Mikrofones und

Fig. 5 ein Diagramm einer Versuchsfahrt über glatten Asphalt mit rauhem Zwischenstück.

In Fig. 1 ist in drei Diagrammen der Amplitudengang einer Beschleunigung an einem Radträger für verschiedene Fahrbahnoberflächen über der Frequenz dargestellt, der mittels einer Fourieranalyse für unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten ermittelt wurde. Fig. 1a zeigt den Amplitudengang für glatten Asphalt, Fig. 1b den Amplitudengang für Beton mit Besenstrich und Fig. 1c den Amplitudengang für Kopfsteinpflaster. Alle Diagramme wurden mit Hilfe von an einer in Fig. 2 skizzierten Radaufhängung 1 angeordneten Beschleunigungsaufnehmern 2 aufgenommen. In die Diagramme nach Fig. 1 sind Meßfenster 3 eingetragen, die einen für eine Rauigkeit einer Fahrbahn charakteristischen Fre-

quenzbereich angeben. Deutlich erkennbar sind der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit und der Einfluß von unterschiedlichen Rauigkeiten der verschiedenen Fahrbahnoberflächen auf die Amplituden in den Meßfenstern 3.

Das in Fig. 3 dargestellte Verfahren nutzt diesen Effekt. Das Verfahren beginnt mit dem Schritt "Erfassen des Abrollgeräusches" 4. Hier und im Folgenden sind mit Abrollgeräusch alle beim Abrollen des Reifens auf einer Fahrbahn entstehende Schwingungen bezeichnet. Diese können als Schall erfaßt werden oder übertragen sich auf das gesamte Fahrzeug und können insbesondere in der Radaufhängung als Beschleunigungen gemessen werden. Es folgen Schritte "Bandpaßfilterung" 5, "Effektivwertbildung" 6 und "Tiefpaßfilterung" 7. Einem nachfolgenden Schritt "Zuordnen im Kennfeld" 8 gehen Schritte "Zustandsbeobachtung" 9 und "Erfassen der Fahrgeschwindigkeit" 10 voraus. Den Abschluß bildet ein Schritt "Ausgeben" 11.

Das Erfassen des Abrollgeräusches 4 erfolgt beispielsweise durch Aufnehmen von Luft- oder Körperschall nahe zumindest einem Reifen eines Kraftfahrzeuges mit nachfolgender Aufbereitung in ein weiterverarbeitungsgerechtes Signal. Es sind prinzipiell alle Verfahren geeignet, die das Abrollgeräusch insbesondere auch unter kraftfahrzeugspezifischen Bedingungen im verwendeten Frequenzbereich erfassen. Im Ausführungsbeispiel wird das Abrollgeräusch mit den in Fig. 2 dargestellten Beschleunigungsaufnehmern 2 als Schwingungen im Radträger aufgenommen. Dieser Schritt liefert ein dem Abrollgeräusch entsprechendes Ausgangssignal der Aufnehmer 2.

Die Bandpaßfilterung 5 des Ausgangssignales erfolgt im Ausführungsbeispiel im Bereich von 70 Hz bis 120 Hz, da es sich in Versuchen gezeigt hat, daß dieser Frequenzbereich von der Rauigkeit der Fahrbahn stark beeinflusst ist; siehe auch Fig. 1. Der ebenfalls die Rauigkeit charakterisierende Frequenzbereich von 10 Hz bis 40 Hz wird zunächst nicht verwendet, da die Radträgereigenfrequenz in diesem Frequenzbereich liegt. Dies führt zu Fehlmessungen, wenn keine Kompensation des sich mit der Zeit ändernden Reifen- und Stoßdämpferzustandes erfolgt.

Die Effektivwertbildung 6 des Ausgangssignales erfolgt nun nur in dem durch die Rauigkeit der Fahrbahn beeinflussten Frequenzbereich. Der ermittelte Effektivwert, der dem quadratischen Mittelwert entspricht, stellt die mittlere Intensität des Abrollgeräusches im gewählten Meßfenster 3 dar.

In einer weiteren Ausführung des Verfahrens ist es alternativ vorgesehen, anstelle der Schritte 5 und 6 eine Spektralanalyse, beispielsweise in Form einer Fourieranalyse, auszuführen und anschließend den Mittelwert der Amplitudenverteilung in dem durch die Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche beeinflussten Frequenzbereich zu bilden.

Die Tiefpaßfilterung 7 erfolgt mit einer Grenzfrequenz, die geringer als die untere Grenzfrequenz des die Fahrbahnrauigkeit charakterisierenden Frequenzbereiches ist. Mit Hilfe der Tiefpaß-Frequenz wird die Dämpfung des Gesamtsystems eingestellt, womit beispielsweise vermieden wird, daß kurzzeitige Änderungen der Fahrbahnrauigkeit, wie sie beispielsweise beim Überfahren von Fahrbahnfugen auftreten, das Ausgangssignal beeinflussen. Im Ausführungsbeispiel wurde ein Tiefpaß-Grenzfrequenz im Bereich von 30 Hz gewählt.

Der Effektivwert hängt neben der Rauigkeit

Fahrbahnoberfläche auch von weiteren Größen ab, vor allem jedoch, wie in Fig. 1 deutlich erkennbar, von der Fahrgeschwindigkeit ab. Zum Kompensieren des Einflusses der Fahrgeschwindigkeit wird ein in Schritt 10 mit üblichen und bekannten Mitteln erfaßtes Fahrge-  
 5 schwindigkeitssignal verwendet.

Während die Einflußgröße Fahrgeschwindigkeit Einfederungszustand und Vorderradlenkwinkel sich kurzfristig ändern, sind weiteren Einflüsse wie Reifentemperatur, Reifentyp, Reifendruck, Reifenunwucht, Fahr-  
 10 bahntemperatur, Stoßdämpfertyp, Stoßdämpferzustand oder Beladungszustand in ihrer Größe kleineren und deutlich längerfristigeren Schwankungen unterworfen. Aus diesem Grunde ist es vorteilhaft, diese Einflüsse in ihrer Größe nicht direkt zu erfassen, sondern mittels  
 15 Zustandsbeobachtung 9 aus dem Abrollgeräuschsignal langfristig zu ermitteln. Mit den Ergebnissen der Zustandsbeobachtung 9 kann dann eine Kompensation der genannten Einflußgrößen erfolgen. Das Verfahren ist damit in der Lage, sich an veränderte Umgebungsbedin-  
 20 gungen zu adaptieren. Um die Qualität der Adaption zu erhöhen, kann es notwendig sein, eine oder mehrere der durch die Zustandsbeobachtung 9 überwachten Einflußgrößen mit Hilfe eines weiteren Signales oder direkt zu erfassen.

Das Zuordnen im Kennfeld 8 des Effektivwertes zu einem Wert der Rauigkeit erfolgt unter Berücksichtigung des im Schritt 10 gewonnenen Fahrge-  
 30 schwindigkeitssignales und des Ergebnisses der Zustandsbeobachtung 9, deren Einfluß damit kompensiert werden kann. Das Kennfeld ist, entsprechend der Zahl von Eingangsgrößen, mehrdimensional aufgebaut.

Im dargestellten Beispiel wurde ein 3-dimensionales Kennfeld, nämlich mit den Eingangsgrößen Effektivwert und Fahrgeschwindigkeit und der Ausgangsgröße  
 35 Rauigkeit durch Fahrversuche ermittelt. Es ist auch möglich, die genaue Kenntnis aller Einflüsse vorausgesetzt, das Kennfeld mittels analytisch geschlossener Gleichungen zu ermitteln oder das Kennfeld durch eine solche Gleichung zu ersetzen. Es kann weiterhin vereinfachend vorgesehen sein, das Zuordnen im Kennfeld 8  
 40 nicht zu einem Wert einer Rauigkeit, sondern zu einem Wertebereich von Rauigkeiten vorzunehmen. Rauigkeitsbereiche können beispielsweise "glatt", "normal" oder "rau" sein.

Das Ausgeben 11 erfolgt an den Fahrer oder im Fahrzeug vorhandene Steuergeräte mit bekannten, nicht  
 45 dargestellten Mitteln auf elektrischem, optischen oder akustischem Weg.

In einer nicht dargestellten, vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens ist es vorgesehen, anstelle eines  
 50 Frequenzbereiches mehrere Frequenzbereiche zu erfassen und die zugehörigen Intensitäten so miteinander zu verknüpfen, daß eine Größe entsteht, die allein von der Fahrbahnrauigkeit abhängt.

Zum Beispiel liefert die Verknüpfung der Intensität eines Frequenzbereiches, der von der Fahrbahnrauigkeit, der Fahrgeschwindigkeit und den weiteren Einflußgrößen beeinflusst wird mit der Intensität eines Fre-  
 55 quenzbereiches, der nur durch Fahrgeschwindigkeit und den weiteren Einflußgrößen abhängt, einen Wert, der allein von der Fahrbahnrauigkeit geprägt wird. Hierdurch wird neben der Ermittlung eines Wertes der Rauigkeit auch eine Ermittlung des Oberflächentyps möglich, z. B. in die im DE-Buch "Reimpell: Fahrwerktechnik/Reifen und Räder, Vogel-Verlag Würzburg 1986" auf S. 187 beschriebenen Klassen.

Eine zweite mögliche Ausführung zum Erfassen 4 des

Abrollgeräusches zeigt Fig. 4. Im Radhaus 12 eines Fahrzeuges ist ein Mikrophon 13 so angeordnet, daß es gegen Wasser, Verschmutzung und Körperschall aus der Karosserie des Fahrzeuges geschützt ist. Die Aus-  
 5 wertung kann dann gegebenenfalls in anderen als den genannten Frequenzbändern erfolgen.

Fig. 5 zeigt in einem Diagramm die Ergebnisse einer Versuchsfahrt über glatten Asphalt mit einem sehr rauhen Zwischenstück.

Dabei ist mit "X" die Fahrgeschwindigkeit und mit "a" eine mit dem erfindungsgemäßen Verfahren (Beschleunigungsaufnehmer 2 am Radträger der Radaufhängung 1 nach Fig. 2) ermittelte Fahrbahnrauigkeit bezeichnet.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung der Rauigkeit einer Fahrbahnoberfläche, wobei die Fahrbahnoberfläche mittels eines Fahrzeugs befahren wird, dessen Räder auf der Fahrbahn abrollen, **gekennzeichnet durch folgende Schritte:**

- Erfassen des Abrollgeräusches (4) wenigstens eines Rades des Kraftfahrzeuges mittels eines am Fahrzeug angeordneten Aufnehmers (2; 13) und Erzeugen eines dem Abrollgeräusch entsprechenden Ausgangssignales,
- Bandpaßfilterung (5) des Ausgangssignales, um einen für die Rauigkeit der Fahrbahn charakteristischen Frequenzbereich abzutrennen,
- Effektivwertbildung (6) des gefilterten Ausgangssignales,
- Tiefpaßfilterung (7) des Effektivwertes,
- Zuordnen (8) des Effektivwertes zu einem Wert der Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche unter Kompensation des Einflusses anderer Größen als der Rauigkeit auf den Effektivwert und
- Ausgeben (11) dieses Wertes.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erfassen des Abrollgeräusches zumindest ein im Radhaus (12) an geschützter Stelle angeordnetes und gegen Körperschall geschütztes Mikrofon (13), dessen Bandbreite zumindest den für die Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche charakteristischen Frequenzbereich umfaßt, verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Abrollgeräusch von zumindest einem an einem Radträger (1) befestigten und bevorzugt in Fahrzeughochrichtung, aber auch in Fahrzeugquerrichtung, in Fahrzeuglängsrichtung oder in einer Kombination aus diesen Richtungen sensierenden Beschleunigungsaufnehmer (2) erfaßt wird, dessen Bandbreite zumindest den für die Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche charakteristischen Frequenzbereich umfaßt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die untere Grenzfrequenz der Bandpaßfilterung (5) im Bereich von 70 Hz und die obere Grenzfrequenz der Bandpaßfilterung (5) im Bereich von 120 Hz liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle der Bandpaßfilterung (5) mit nachfolgender Effektivwertbildung (6) folgende Schritte durchgeführt werden:

- Spektralanalyse des für die Rauigkeit der Fahrbahn charakteristischen Frequenzbereiches

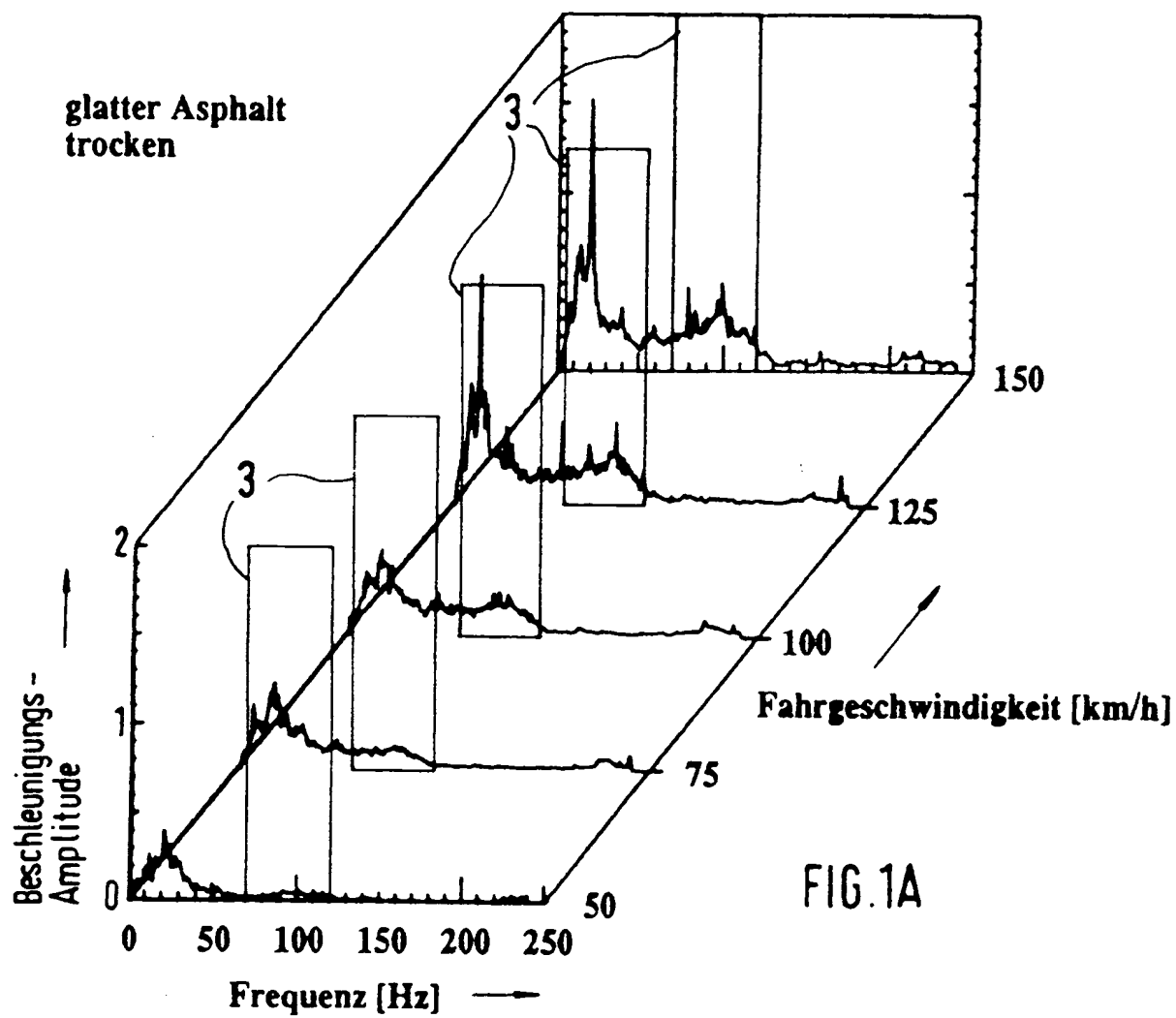
- im Ausgangssignal des Aufnehmers (2; 13) und  
 — Mittelwertbildung über das so ermittelte Amplitudenspektrum.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal des Aufnehmers in einem Bereich zwischen 70 Hz und 120 Hz der Spektralanalyse unterzogen wird. 5
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Spektralanalyse das Ausgangssignal des Aufnehmers in einem Bereich zwischen 70 Hz und 120 Hz einer Fourieranalyse unterzogen wird. 10
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf den Effektivwert mit Hilfe eines Fahrgeschwindigkeitssignales kompensiert wird. 15
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zum Einfluß der Fahrgeschwindigkeit wenigstens einer der Einflüsse: Reifentemperatur, Fahrbahntemperatur, Reifentyp, Reifenluftdruck, Reifenunwucht, Stoßdämpfertyp, Stoßdämpferzustand, Vorderradlenkwinkel, Einfederungszustand oder Beladungszustand auf den Effektivwert kompensiert wird und daß hierzu die genannten Größen direkt erfaßt werden. 20
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zum Einfluß der Fahrgeschwindigkeit wenigstens einer der Einflüsse: Reifentemperatur, Fahrbahntemperatur, Reifentyp, Reifenluftdruck, Reifenunwucht, Stoßdämpfertyp, Stoßdämpferzustand, Vorderradlenkwinkel, Einfederungszustand oder Beladungszustand auf den Effektivwert adaptiv kompensiert werden, wobei die Adaption mit Hilfe des Ausgangssignales des Aufnehmers durchgeführt wird. 25
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß Werte der Einflußgrößen außer der Fahrgeschwindigkeit durch Zustandsbeobachtung aus dem Ausgangssignal des Aufnehmers ermittelt werden. 30
12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß Werte der Einflußgrößen außer der Fahrgeschwindigkeit durch Zustandsbeobachtung aus dem Ausgangssignal des Aufnehmers und anderen Signalen ermittelt werden. 35
13. Verfahren nach Anspruch 1, 8 oder einem der folgenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Zuordnen (8) des Effektivwertes zu einem Wert oder einem Wertebereich von Rauigkeiten erfolgt. 40
14. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Zuordnen (8) des Effektivwertes mittels einer Kennlinie oder eines Kennfeldes erfolgt, die als Eingangsgröße zumindest den Effektivwert, des weiteren den Wert des Fahrgeschwindigkeitssignales und die Werte der weiteren Eingangsgrößen aufweist und als Ausgangsgröße den Wert oder den Wertebereich der Rauigkeit liefert. 45
15. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Zuordnen (8) des Effektivwertes mittels einer geschlossenen analytischen Gleichung erfolgt, die als Eingangsgröße zumindest den Effektivwert, des weiteren den Wert des Fahrgeschwindigkeitssignales und die Werte der weiteren Eingangsgrößen aufweist und als Ausgangsgröße den Wert oder den Wertebereich der Rauigkeit liefert. 50

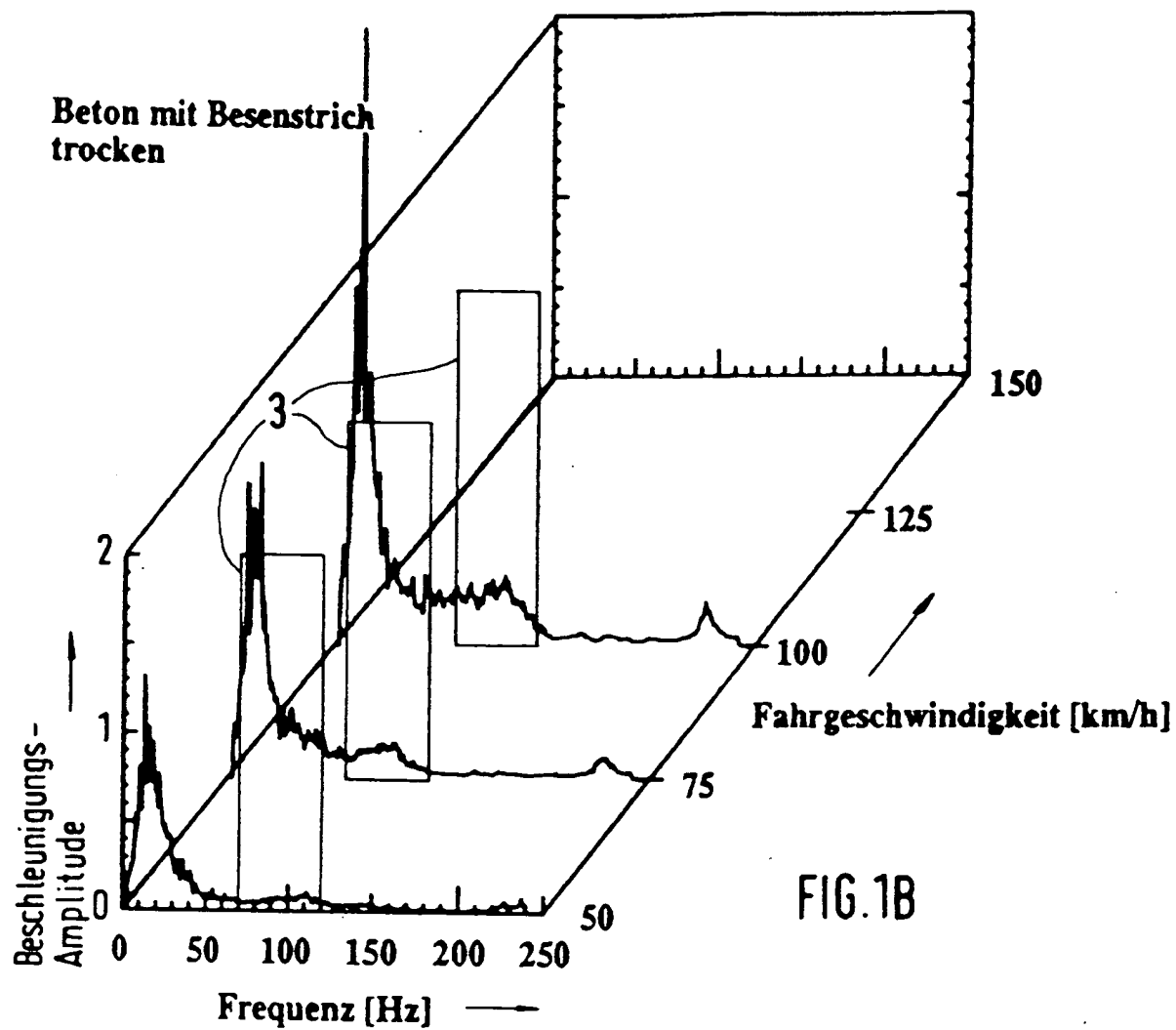
16. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verfahrensschritte
- Bandpaßfilterung (5) des Ausgangssignales, um einem für die Rauigkeit der Fahrbahn charakteristischen Frequenzbereich abzutrennen,
  - Effektivwertbildung (6) des gefilterten Ausgangssignales,
  - Tiefpaßfilterung (7) des Effektivwertes für mehrere Frequenzbereiche parallel durchgeführt werden und dann durch den Schritt Zuordnen (8) der Effektivwerte zu einem Wert der Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche unter Kompensation des Einflusses anderer Größen als der Rauigkeit auf die Effektivwerte der Wert oder Wertebereich der Rauigkeit ermittelt werden.
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Zuordnen (8) der Effektivwerte zu einem Wert oder Wertebereich der Rauigkeit und zu einem Oberflächentyp erfolgt.
18. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Erfassen des Abrollgeräusches (4) an einer in Fahrtrichtung gesehen ersten Achse erfolgt.
19. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Effektivwertes eine Kenngröße gebildet und verwendet wird, die ein Maß für die Schallintensität in einem für die Rauigkeit der Fahrbahn charakteristischen Frequenzbereich ist.

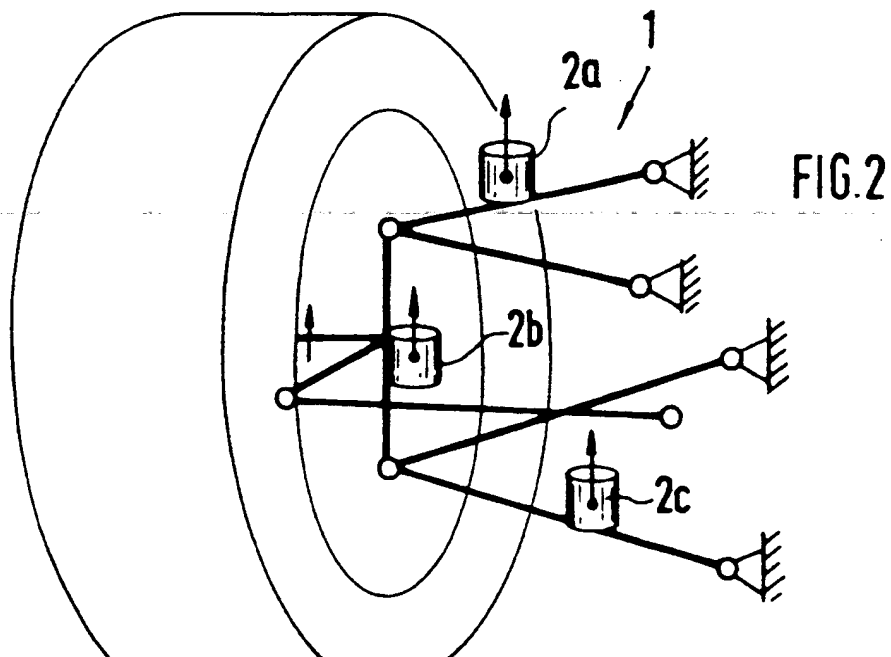
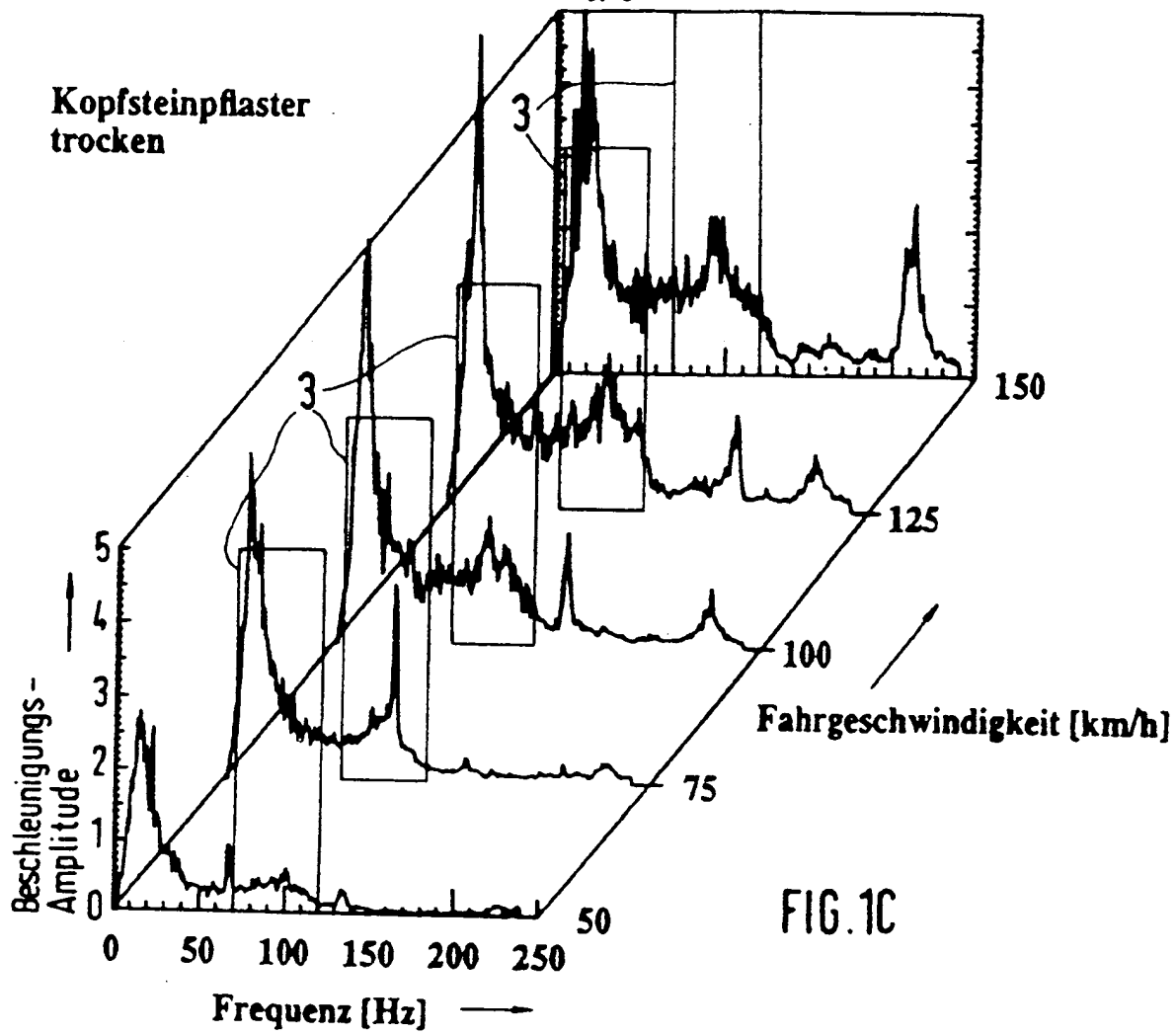
---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---









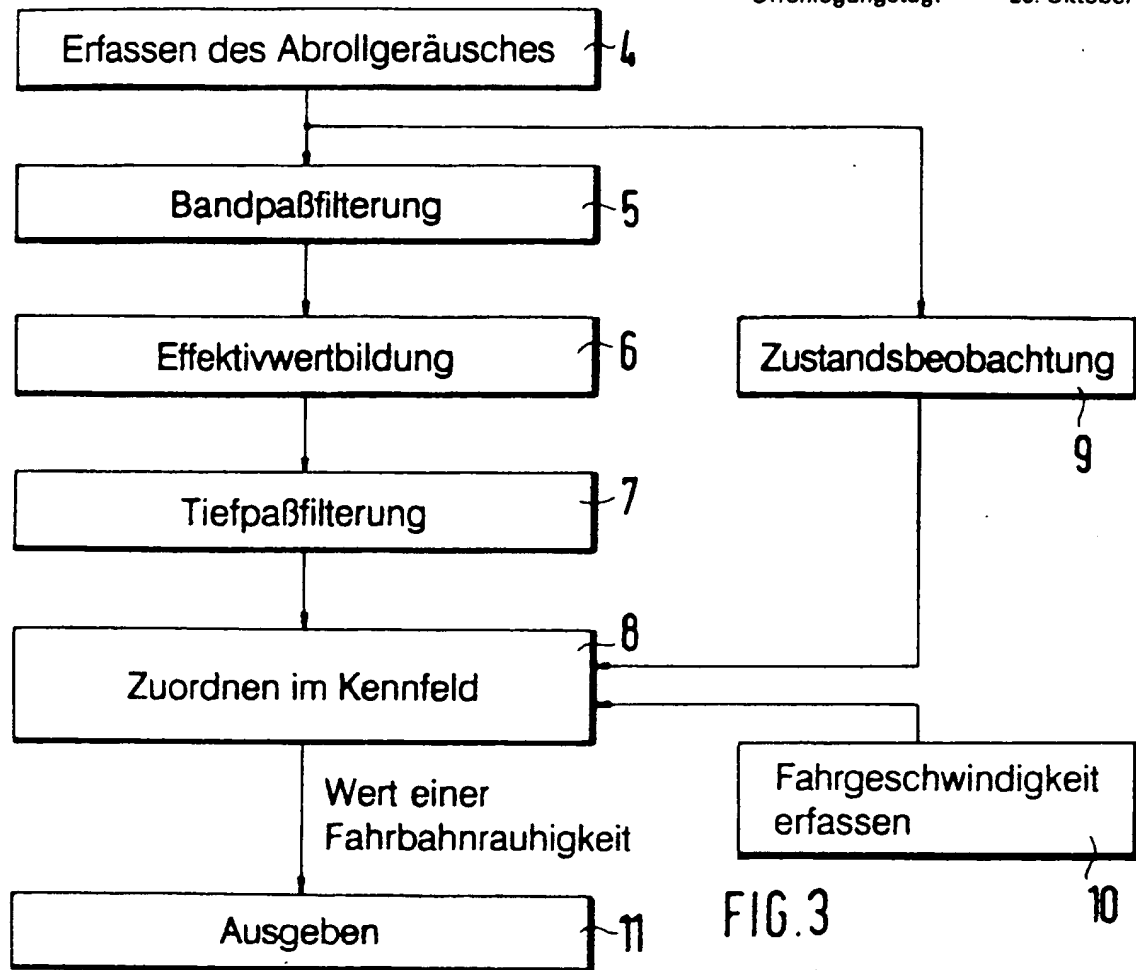


FIG.3

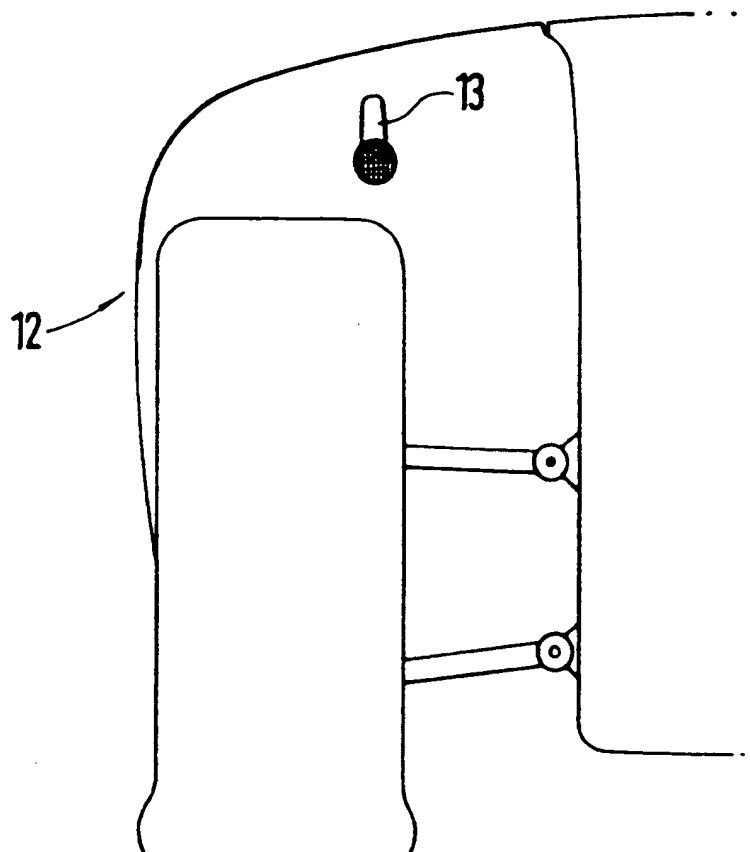


FIG.4

